

**ANALISA GANGGUAN HUBUNG SINGKAT PADA SISTEM TENAGA
LISTRIK DI PERTAMINA EP - *CENTRAL PROCESSING PLANT AREA*
GUNDIH MENGGUNAKAN *SOFTWARE ETAP 12.6***



**Disusun sebagai salah satu syarat menyelesaikan Program Studi Strata I
Pada Jurusan Teknik Elektro
Fakultas Teknik**

Oleh:

ANA DWI ERNIA

D 400 130 052

**PROGRAM STUDI TEKNIK ELEKTRO
FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS MUHAMMADIYAH SURAKARTA
2017**

HALAMAN PERSETUJUAN

ANALISA GANGGUAN HUBUNG SINGKAT PADA SISTEM TENAGA LISTRIK DI PERTAMINA EP - *CENTRAL PROCESSING PLANT AREA* GUNDIH MENGGUNAKAN *SOFTWARE ETAP 12.6*

PUBLIKASI ILMIAH

oleh:

ANA DWI ERNIA

D 400 130 052

Telah diperiksa dan disetujui untuk diuji oleh:

Dosen Pembimbing



AGUS SUPARDI, S.T., M.T

NIK.883

HALAMAN PENGESAHAN

ANALISA GANGGUAN HUBUNG SINGKAT PADA SISTEM TENAGA LISTRIK DI PERTAMINA EP - *CENTRAL PROCESSING PLANT AREA* GUNDIH MENGGUNAKAN *SOFTWARE* ETAP 12.6

OLEH

ANA DWI ERNIA

D 400 130 052

Telah dipertahankan di depan Dewan Penguji
Fakultas Teknik
Universitas Muhammadiyah Surakarta
Pada hari Rabu, 04 Januari 2017
dan dinyatakan telah memenuhi syarat

Dewan Penguji:

1. Agus Supardi, S.T, M.T.

(Ketua Dewan Penguji)

2. Umar, S.T, M.T.

(Anggota I Dewan Penguji)

3. Hasyim Asy'ari, S.T, M.T

(Anggota II Dewan Penguji)

(.....)
(.....)
(.....)

Dekan,



PERNYATAAN

Dengan ini saya menyatakan bahwa dalam naskah publikasi ini tidak terdapat karya yang pernah diajukan untuk memperoleh gelar kesarjanaan di suatu perguruan tinggi dan sepanjang pengetahuan saya juga tidak terdapat karya atau pendapat yang pernah ditulis atau diterbitkan orang lain, kecuali secara tertulis diacu dalam naskah dan disebutkan dalam daftar pustaka.

Apabila kelak terbukti ada ketidakbenaran dalam pernyataan saya di atas, maka akan saya pertanggungjawabkan sepenuhnya.

Surakarta, 03 Januari 2017

Penulis



ANA DWI ERNIA

D 400 130 052

ANALISA GANGGUAN HUBUNG SINGKAT PADA SISTEM TENAGA LISTRIK DI PERTAMINA EP - CENTRAL PROCESSING PLANT AREA GUNDIH MENGGUNAKAN SOFTWARE ETAP 12.6

Abstrak

Listrik dihasilkan dari pembangkit listrik yang kemudian ditransmisikan melalui jaringan transmisi sampai pada distribusi dan *user* untuk dimanfaatkan dalam kehidupan sehari-hari. Proses penyaluran ini tidak lepas dari gangguan yang timbul akibat dari faktor bahan/jenis penghantar dan faktor jarak. Gangguan yang biasa timbul pada proses penyaluran adalah gangguan hubung singkat. Gangguan hubung singkat terdiri dari 4 jenis, yaitu gangguan hubung singkat 3 fasa, gangguan hubung singkat satu fasa ke tanah, gangguan hubung singkat ganda, dan gangguan hubung singkat ganda ke tanah. Analisa gangguan hubung singkat dilakukan pada sistem tenaga listrik di Pertamina EP-Central Processing Plant Area Gundih. Gangguan hubung singkat dapat di analisa dengan menggunakan metode simulasi dan perhitungan manual dengan tujuan untuk mengetahui seberapa besar arus hubung singkat yang terjadi di tiap bus yang berbeda secara bergantian. Metode yang digunakan adalah dimulai dari pengumpulan data dan informasi, membuat *single line diagram* pada ETAP 12.6, melakukan pengecekan dengan simulasi *load flow*, melakukan simulasi *short circuit analysis*, melakukan perhitungan manual, membuat perbandingan dan kesimpulan. Hasil kesimpulan dari analisa gangguan hubung singkat adalah arus gangguan hubung singkat sebelum melewati trafo dan sesudah melewati trafo berbeda. Bus yang tersambung tepat setelah trafo dengan bus yang tersambung ke beban memiliki nilai arus hubung singkat yang sama yaitu pada bus 239 dengan MCC 4111A dengan besar arus 40,571 kA gangguan 3 fasa, 42,323 kA gangguan satu fasa ke tanah. Perhitungan arus hubung singkat bisa digunakan untuk menentukan : kapasitas pengaman, jenis *relay*, dan tempat pemasangan *relay* yang tepat.

Kata Kunci: analisa, arus, ETAP 12.6, gangguan hubung singkat

Abstract

Electricity generated from the power plant which is then transmitted through the transmission to the distribution network and the user to be used in everyday life. This distribution process is not free from disruptions arising from material factor/conductor types and distance factor. Disorders that usually arises in the process of distribution is a short circuit. Short circuit consists of four types, there are 3-phase short circuit, single phase to ground short circuit, phase to phase short circuit, and two-phase to ground short circuit. Short circuit analysis performed on the electric power in the Pertamina EP-Central Processing Plant Area Gundih. Short circuit can be analyzed using simulation methods and calculations manually to determine how much the short-circuit current that occurs at different bus each in turn. The method used is started by the collection of data and information, create a single line diagram in ETAP 12.6, checks the load flow simulation, simulating short circuit analysis, perform manual calculations, making comparisons and conclusions. The conclusion of the analysis is there are difference value of short circuit fault current before and after passing through transformer. Bus-connected right after the transformer and bus-connected load have the same short circuit current value at which the bus 239 to MCC 4111A with large current 40.571 KA 3 phase fault, 42.323 KA single phase to ground fault. Calculation of short circuit current can be used to determine: safety capacity, type of relay, and the installation of the appropriate relay.

Keywords: analysis, current, ETAP 12.6, short circuit

1. PENDAHULUAN

Semua unit bangunan di dunia membutuhkan energi listrik untuk melakukan proses produksi maupun distribusi. Energi listrik tidak hanya dimanfaatkan untuk pencahayaan, melainkan juga digunakan untuk menggerakkan dan menghidupkan alat-alat elektronik. Alat-alat elektronik semakin berkembang seiring dengan kemajuan ilmu pengetahuan dan teknologi yang membuat semua orang bersaing untuk menciptakan alat yang sederhana, praktis, efisien, dan kreatif. Energi listrik ini dihasilkan dari pembangkit listrik yang kemudian disalurkan melalui transmisi hingga sampai ke konsumen untuk digunakan berbagai macam kegiatan. Energi listrik adalah suatu elektron yang bergerak dari muatan listrik positif menuju ke muatan listrik negatif sehingga menghasilkan arus listrik. Arus listrik inilah digunakan sebagai acuan untuk setiap peralatan.

Arus listrik yang mengalir dari pembangkit menuju ke konsumen terkadang mengalami gangguan. Gangguan arus listrik yang terjadi pada sistem tenaga listrik biasa disebut dengan gangguan hubung singkat. Gangguan hubung singkat pada umumnya ada 2 jenis, yaitu gangguan simetris dan tidak simetris. Gangguan simetris seperti gangguan tiga fasa simetris, sedangkan gangguan tidak simetris meliputi gangguan satu fasa ke tanah, gangguan ganda, dan gangguan ganda ke tanah. Gangguan hubung singkat disebabkan oleh beban lebih dan mengakibatkan arus meningkat serta menyebabkan panas, sehingga pemutus memutuskan arus dengan cepat agar gangguan bisa terkendali. Gangguan hubung singkat secara mekanik dapat menyebabkan kerusakan pada sistem maupun pada peralatan elektronik, dan secara ekonomi dapat menyebabkan kegiatan produksi dan distribusi menurun atau terhenti.

Pada sistem tenaga listrik, studi arus hubung singkat merupakan hal yang penting terutama untuk perencanaan, perancangan serta perluasan sistem tenaga listrik. Data yang diperoleh dari perhitungan ini akan digunakan untuk menentukan *setting* relai dan kapasitas pemutus tenaga. Pemilihan pemutus rangkaian untuk sistem tenaga listrik tidak hanya tergantung pada arus yang mengalir pada pemutus rangkaian dalam keadaan kerja normal saja tetapi juga pada arus maksimum yang mungkin mengalirinya beberapa waktu dan pada arus yang mungkin harus diputuskannya pada tegangan saluran dimana pemutus itu di tempatkan (Ichwan Yelfianhar, 2009). Arus hubung singkat dapat dihitung berdasarkan asumsi sebagai berikut : sebelum terjadinya kondisi tidak seimbang jaringan, kecepatan generator tidak berubah setelah terjadi hubung singkat, generator diasumsikan untuk bekerja tanpa beban dan kelebihan beban, dan generator terhubung ke jaringan yang besar, sehingga setelah gangguan tidak dipengaruhi oleh arus hubung singkat (Sulla, 2011).

Hubung singkat dibandingkan dengan pemutusan lebih sering terjadi pada sirkuit pembangkit listrik dan gardu, serta di jaringan listrik. Perlu dicatat bahwa hubung singkat, terlepas dari apakah itu simetris atau tidak, menyebabkan daerah yang mengalami gangguan akan mati (Malafeev. A,

2015). Komponen tiga fase diubah menjadi urutan positif, urutan negatif dan kopling urutan nol. Kemudian kopling urutan nol dipisahkan menggunakan metode komponen enam-urutan, yaitu metode arus sirkulasi. Menurut batas kondisi, komposit jaringan urutan diperoleh dan arus hubung singkat dapat dihitung dengan mudah (Chunju Fan, 2016).

Model simulasi berguna untuk penelitian tes hubung singkat trafo dan tes hubung singkat trafo merupakan metode penting untuk studi fitur trafo. Metode simulasi dengan menggunakan software ada beberapa jenis untuk menyelesaikan simulasi tersebut, MATLAB adalah salah satu perangkat lunak yang paling populer di bidang ini (Wang Lidi, 2012). Analisa gangguan hubung singkat adalah analisis yang mempelajari kontribusi arus gangguan hubung singkat yang mungkin mengalir pada setiap cabang di dalam sistem sewaktu gangguan hubung singkat yang mungkin terjadi di dalam sistem tenaga listrik. Analisis gangguan hubung singkat merupakan suatu hal yang penting untuk menentukan rating arus hubung singkat, guna untuk melindungi perangkat dan peralatan sistem distribusi dari efek yang ditimbulkan beban (Mathur, 2015).

Berdasarkan uraian diatas, tugas akhir ini melakukan analisa gangguan hubung singkat pada sistem tenaga listrik di Pertamina EP-Central Processing Plant Area Gundih. Tujuan analisa ini adalah untuk mendapatkan rating arus hubung singkat dan sebagai dasar pengetahuan untuk menentukan *rating* pengaman. Analisa arus hubung singkat ini menggunakan *software* ETAP 12.6 dan perhitungan manual sebagai pembandingan rating arus hubung singkat. Perbandingan rating arus hubung singkat dapat digunakan sebagai bahan atau metode untuk pembelajaran maupun untuk pekerjaan di lapangan.

2. METODE

2.1 Rancangan Penelitian

Perancangan penelitian dan pembuatan laporan ini menggunakan beberapa metode, antara lain :

1) Studi Literatur

Studi literatur adalah proses mencari informasi atau referensi dan pengumpulan data yang berkaitan dengan judul penelitian.

2) Pengumpulan Data

Pengumpulan data adalah mengambil dan mengumpulkan data yang diperlukan untuk diteliti, meliputi gambar *single line diagram* Pertamina EP-Central Processing Plant Area Gundih beserta kapasitas semua komponen yang ada di tempat tersebut.

3) Analisa Data

Analisa data adalah suatu proses pemahaman tentang sistem atau rangkaian yang akan diteliti dan dilakukan proses simulasi. Proses simulasi ini digunakan untuk mengetahui bahwa sistem atau rangkaian tersebut dapat bekerja dengan baik atau tidak.

4) Perancangan dan Perbaikan Sistem

Perancangan dan perbaikan sistem adalah suatu rencana untuk menyelesaikan permasalahan yang terjadi saat proses simulasi berlangsung dan melakukan perbaikan sistem agar proses bisa bekerja dengan baik dan lancar serta demi keamanan dan kehandalan sistem.

5) Pengujian dan Pembahasan

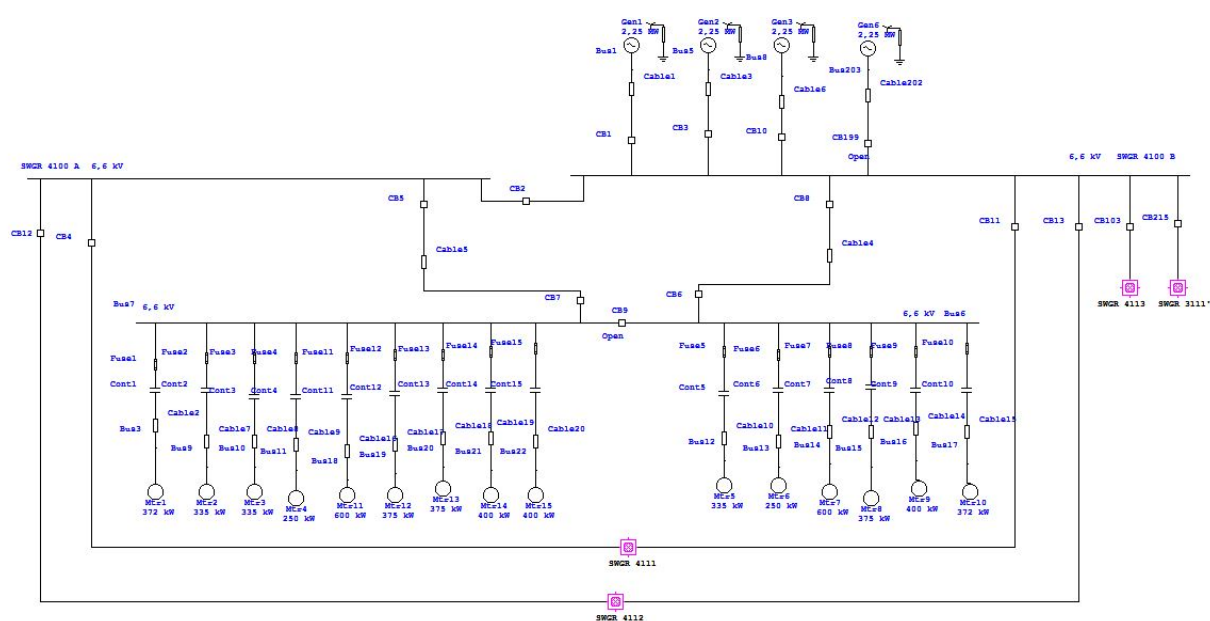
Pengujian dan pembahasan adalah suatu kegiatan yang digunakan untuk melakukan penelitian terhadap suatu rancangan sistem baik menggunakan simulasi maupun perhitungan secara manual. Hasil dari pengujian digunakan untuk pembahasan dan pengumpulan kesimpulan.

2.2 Peralatan Penelitian

Peralatan yang digunakan dalam penelitian ini, antara lain :

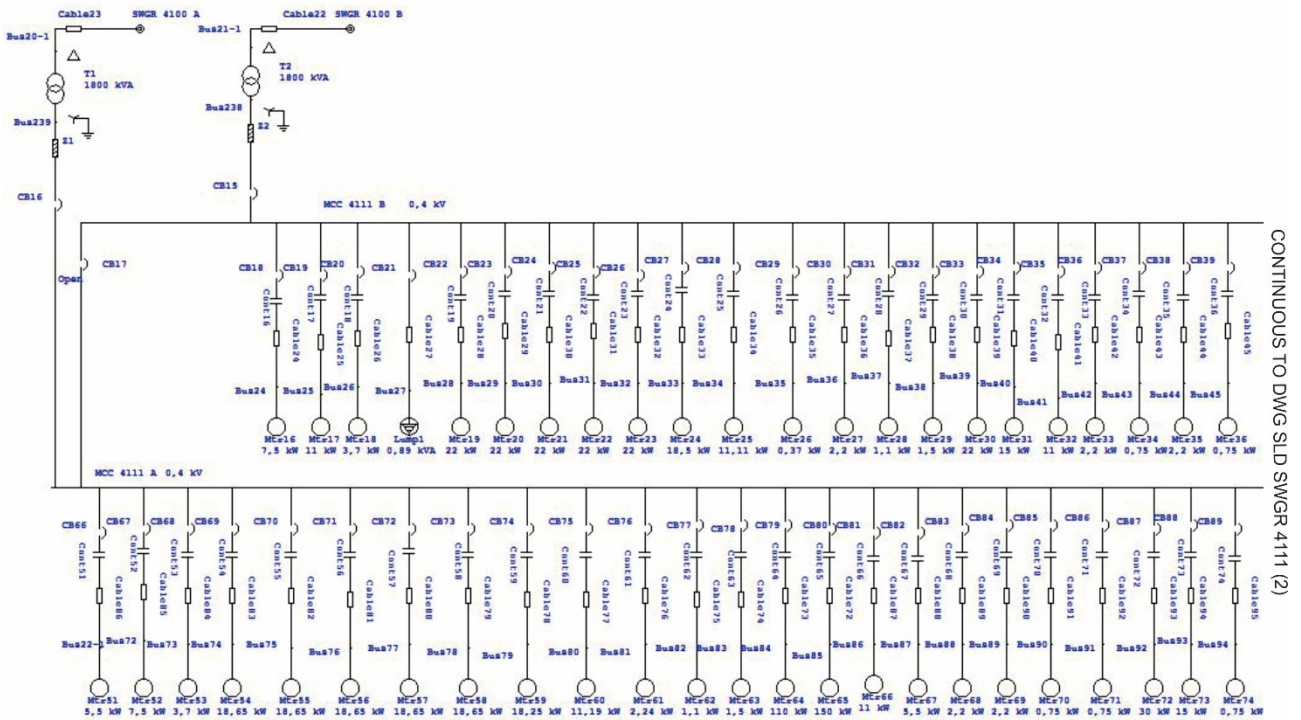
- 1) PC (*Personal Computer*) atau laptop.
- 2) *Software ETAP 12.6* yang digunakan untuk melakukan analisa hubung singkat pada sistem tenaga listrik di Pertamina EP-Central Processing Plant Area Gundih.

2.3 Gambar Rangkaian Sistem Distribusi Tenaga Listrik di Pertamina EP-Central Processing Plant Area Gundih



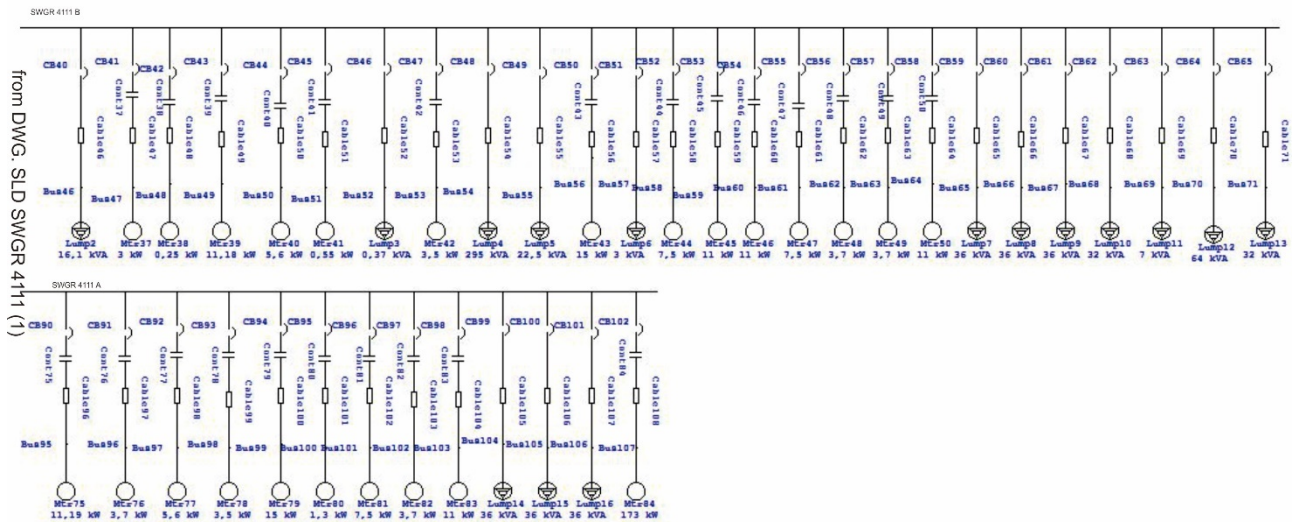
Gambar 1. Single Line Diagram Utama

DWG SLD SWGR 4111 (1)



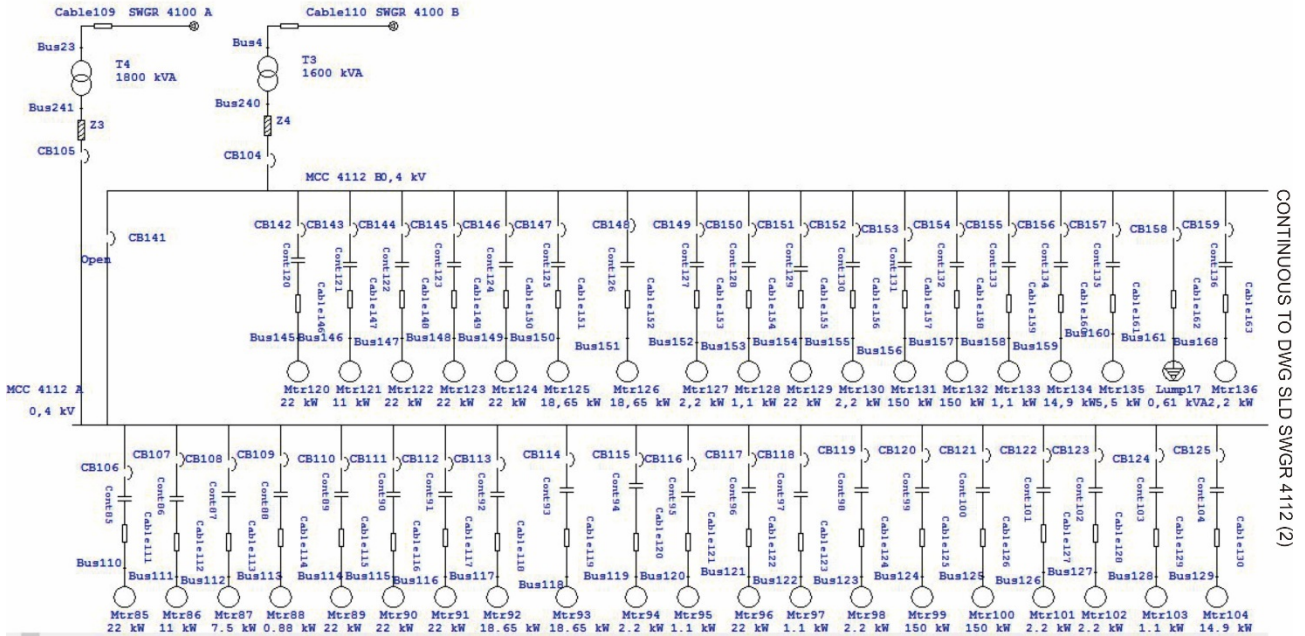
Gambar 2. SLD Switchgear 4111 (bagian 1)

DWG SLD SWGR 4111 (2)



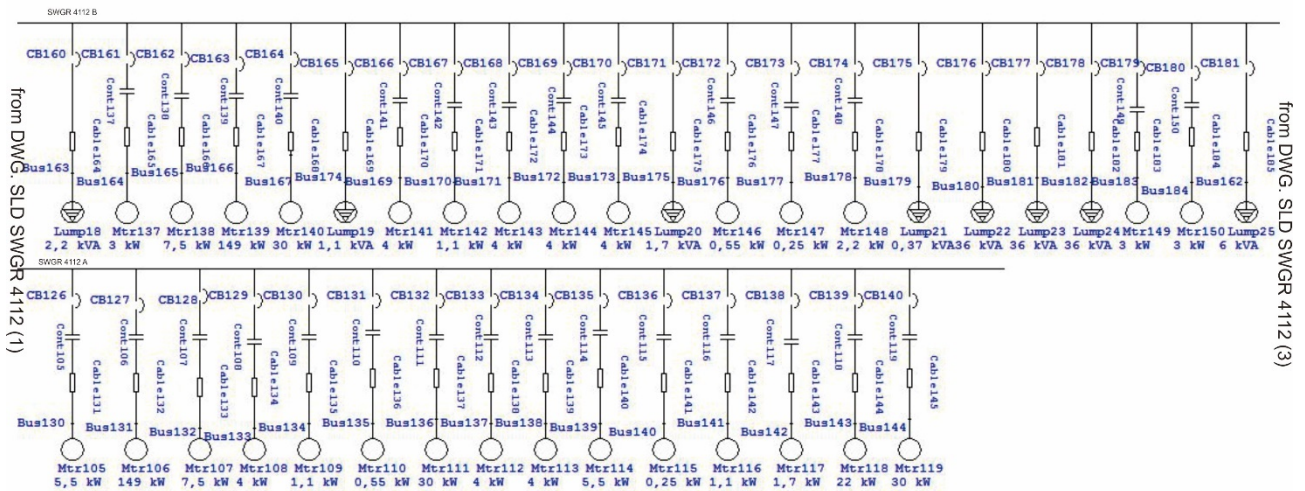
Gambar 3. SLD Switchgear 4111 (bagian 2)

DWG SLD SWGR 4112 (1)



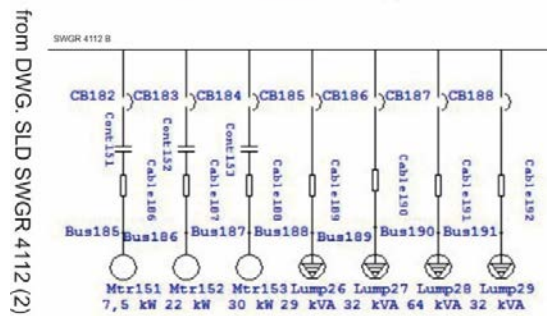
Gambar 4. SLD *Switchgear* 4112 (bagian 1)

DWG SLD SWGR 4112 (2)

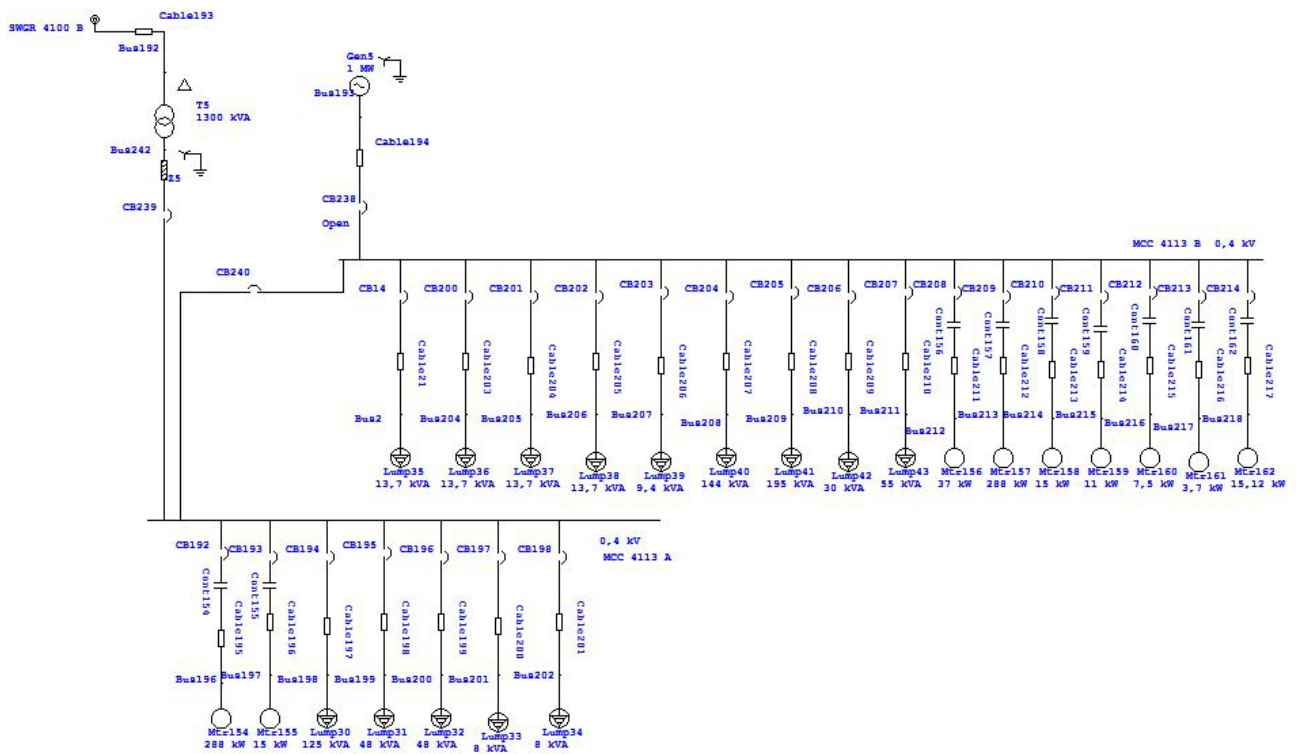


Gambar 5. SLD *Switchgear* 4112 (bagian 2)

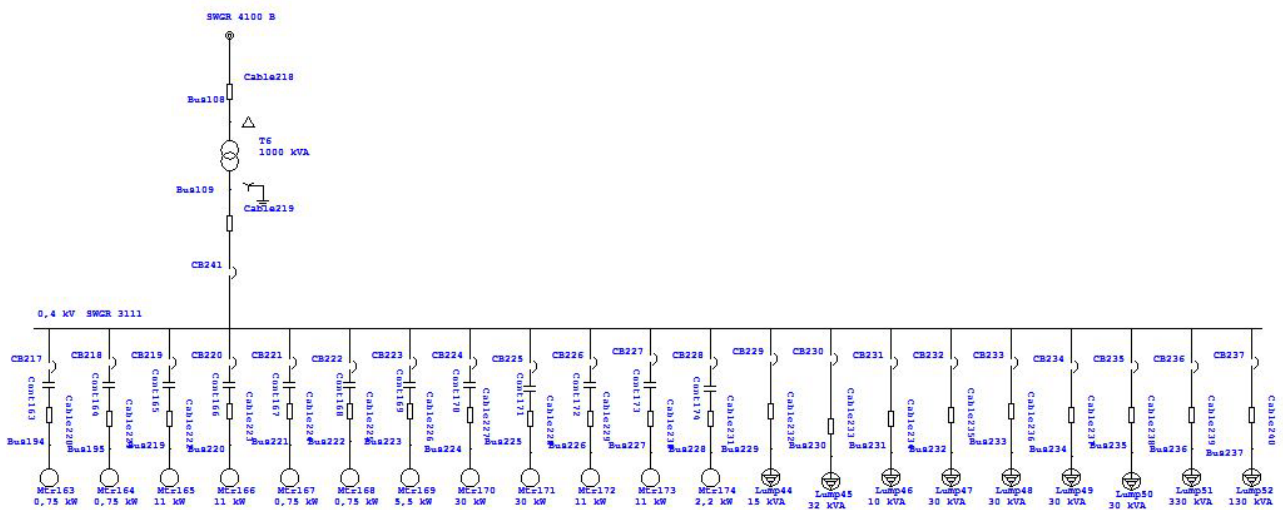
DWG SLD SWGR 4112 (3)



Gambar 6. SLD *Switchgear* 4112 (bagian 3)

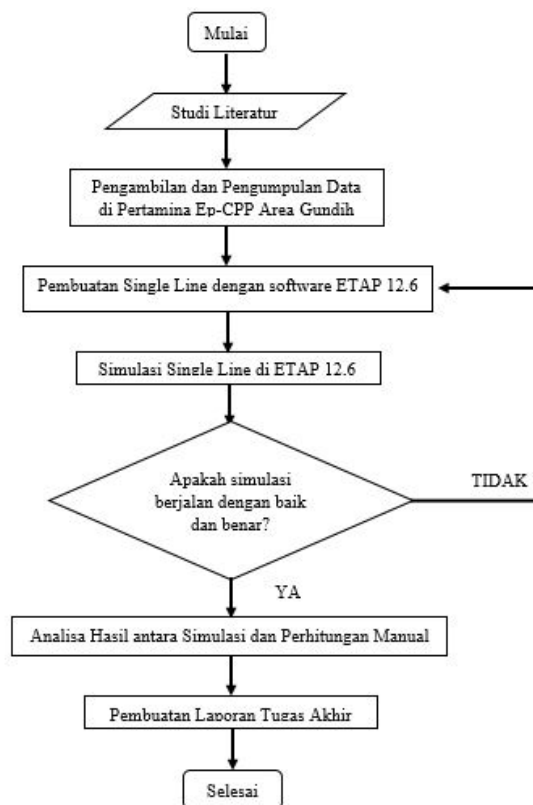


Gambar 6. SLD Switchgear 4113



Gambar 7. SLD Switchgear 3111

2.4 Flowchart Penelitian



Gambar 8. Flowchart Penelitian

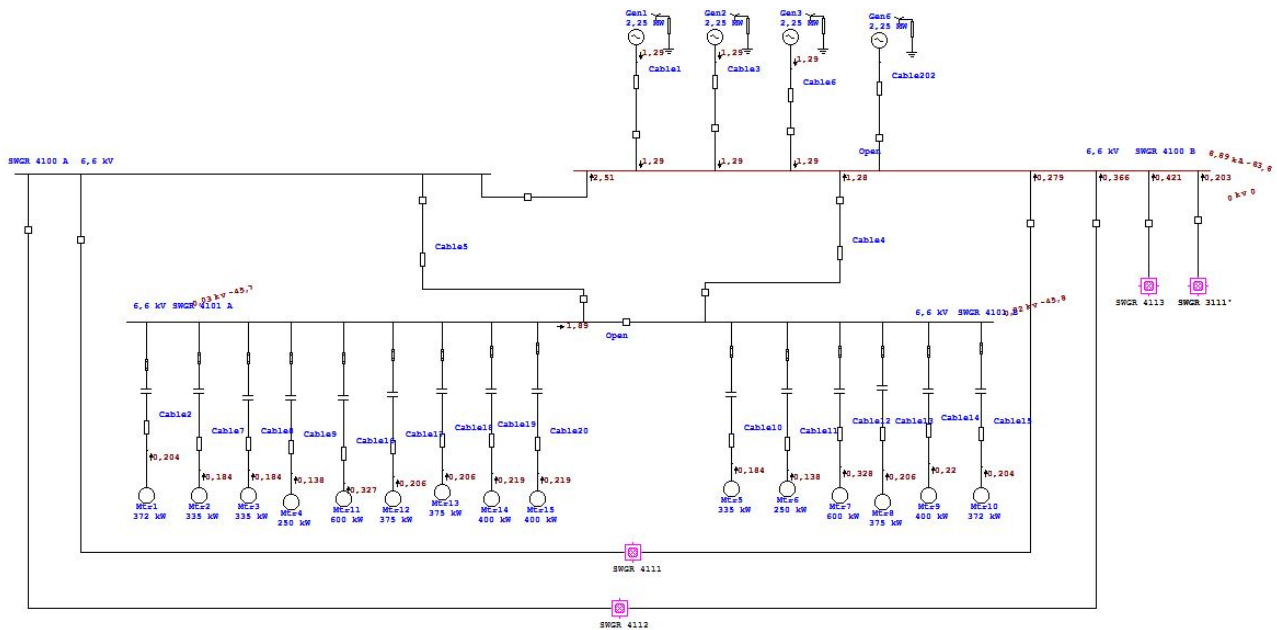
3. HASIL DAN PEMBAHASAN

Penelitian analisa gangguan hubung singkat pada sistem tenaga listrik di Pertamina EP-Central Processing Plant Area Gundih menggunakan simulasi ETAP 12.6 dengan *Standart IEEE Short Circuit Analysis 3-Phase, LG, LL, & LLG Fault Currents 1/2 Cycle Network*. 3Phase, LG, LL, & LLG Fault Currents 1/2 Cycle Network adalah menganalisa gangguan 3 fasa, gangguan satu fasa ke tanah, gangguan ganda, dan gangguan ganda ke tanah selama 1/2 cycle. Simulasi ini digunakan untuk mendapatkan impedansi urutan positif, impedansi urutan negatif, dan impedansi urutan nol yang digunakan untuk menghitung arus hubung singkat secara manual. Hasil *rating* arus hubung singkat secara simulasi dengan menggunakan ETAP 12.6 akan dibandingkan dengan perhitungan manual dengan menggunakan rumus yang terdapat pada buku Analisis Sistem Tenaga Listrik edisi ke empat oleh William D. Stevenson, Jr.

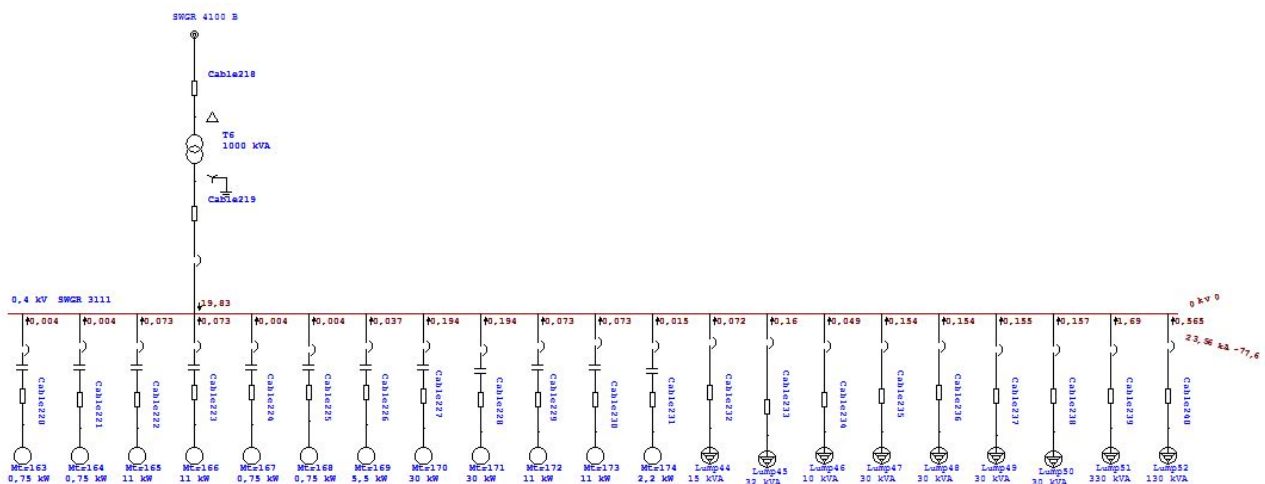
3.1 Simulasi Rangkaian dengan ETAP 12.6

Simulasi dilakukan pada 5 bus yang berbeda tempat dan secara bergantian. Bus-bus yang mengalami gangguan yaitu *switchgear* 4100 B, MCC 4111 A, *switchgear* 3111, bus 20-1, dan bus 239. Bus yang dekat dengan generator adalah *switchgear* 4100 B dan bus yang jauh dari jangkauan generator

adalah *switchgear* 4111A. MCC 4111A ini terdapat trafo yang digunakan untuk menurunkan tegangan dari 6,6 kv menjadi 0,4 kv.



Gambar 9. Simulasi Hubung Singkat pada *Switchgear* 4100B



Gambar 10. Simulasi Hubung Singkat pada *Switchgear* 3111

3.2 Hasil Simulasi Gangguan 3 Fasa

Hasil simulasi pada gangguan hubung singkat 3 fasa 5 bus yang terdiri dari *switchgear* 4100B, bus 239, MCC 4111A, *switchgear* 3111, dan bus 20-1 dapat dilihat pada tabel 1. Berdasarkan perbedaan letak gangguan tersebut, maka akan menyebabkan perubahan *rating* arus gangguan hubung singkat. Tabel 1 menunjukkan bahwa MCC 4111 A memiliki *rating* arus besar daripada bus 20-1. Hal tersebut dikarenakan impedansi urutan positif pada bus 20-1 lebih besar dibandingkan dengan impedansi urutan positif pada MCC 4111A. Semakin besar impedansi urutan positif maka arus gangguan hubung singkat akan semakin kecil.

Tabel 1. *Report* Hasil Simulasi Gangguan 3 Fasa dari ETAP 12.6

Bus / <i>Switchgear</i>	Arus Gangguan 3 Fasa (kA)	Z_1 (Ω)
4100 B	8,886	$0,04665 + j0,42625$
239	40,571	$0,00087 + j0,00563$
4111 A	40,571	$0,00087 + j0,00563$
3111	23,564	$0,00211 + j0,00957$
20-1	8,833	$0,05248 + j0,42817$

3.3 Hasil Simulasi Gangguan Satu Fasa ke Tanah

Berdasarkan tabel 2, *report* hasil simulasi dengan perbedaan letak gangguan yang terdiri dari 5 bus menghasilkan *rating* arus gangguan hubung singkat yang berbeda-beda, kecuali pada bus 239 dan MCC 4111A. *Switchgear* 3111 memiliki arus gangguan hubung singkat yang cukup besar dengan *rating* arus gangguan sebesar 22,306 kA, hal tersebut dikarenakan impedansi total sebesar $0,00627 + j0,03042$ ohm dan letak gangguan tersebut jauh dari generator.

Tabel 2. *Report* Hasil Simulasi Gangguan Satu Fasa ke Tanah dari ETAP 12.6

Bus / <i>Switchgear</i>	Arus Gangguan Satu Fasa ke Tanah (kA)						Z_{total}
	I_a	I_b	I_c	I_1	I_2	I_0	
4100 B	8,247	0	0	2,79	2,79	2,79	$0,67891 + j1,20854$
239	42,323	0	0	14,108	14,108	14,108	$0,00246 + j0,01618$
4111 A	42,323	0	0	14,108	14,108	14,108	$0,00246 + j0,01618$
3111	22,306	0	0	7,435	7,435	7,435	$0,00627 + j0,03042$
20-1	8,137	0	0	2,712	2,712	2,712	$0,7005 + j1,21781$

3.4 Hasil Simulasi Gangguan Ganda

Letak gangguan hubung singkat yang berbeda akan menghasilkan *rating* arus gangguan hubung singkat yang berbeda pula. Berdasarkan tabel 3, terdapat *rating* arus hubung singkat yang hampir sama, yaitu antara *switchgear* 4100B dan bus 20-1 dengan selisih 0,048 kA. Hal tersebut dikarenakan jarak kabel pada bus 20-1 lebih jauh daripada jarak kabel pada *switchgear* 4100B, sehingga impedansi yang dihasilkan akan lebih lebih besar pada bus 20-1. Impedansi urutan positif, impedansi urutan negatif, dan impedansi urutan nol pada bus 20-1 yaitu $0,05248 + j0,42817$ ohm, $0,06177 + j0,41742$ ohm, dan $0,58625 + j0,37222$ ohm. Impedansi urutan untuk *switchgear* 4100B yaitu $Z_1 = 0,04665 + j0,42625$ ohm.

Tabel 3. *Report* Hasil Simulasi Gangguan Ganda dari ETAP 12.6

Bus / <i>Switchgear</i>	Arus Gangguan Ganda (kA)					
	I _a	I _b	I _c	I ₁	I ₂	I ₀
4100 B	0	7,783	7,783	4,494	4,494	0
239	0	35,221	35,221	20,335	20,335	0
4111 A	0	35,221	35,221	20,335	20,335	0
3111	0	20,434	20,434	11,797	11,797	0
20-1	0	7,735	7,735	4,466	4,466	0

3.5 Hasil Simulasi Gangguan Ganda ke Tanah

Hasil simulasi gangguan hubung singkat ganda ke tanah dengan letak gangguan yang berbeda dapat dilihat pada tabel 4. Berdasarkan perbedaan letak gangguan pada 5 bus/*switchgear* terdapat *rating* arus gangguan hubung singkat yang sama, yaitu pada bus 239 dan MCC 4111A. *Rating* arus gangguan hubung singkat pada bus 239 dan MCC 4111A adalah $I_b = 41,282$ kA dan $I_c = 41,273$ kA, maka secara otomatis impedansi urutan antara bus tersebut juga sama. Impedansi urutan positif, impedansi urutan negatif, dan impedansi urutan nol secara berurutan yaitu $0,00087+j0,00563$ ohm, $0,00089+j0,00559$ ohm, dan $0,00070+j0,00496$ ohm.

Tabel 4. *Report* Hasil Simulasi Gangguan Ganda ke Tanah dari ETAP 12.6

Bus / <i>Switchgear</i>	Arus Gangguan Ganda ke Tanah (kA)					
	I _a	I _b	I _c	I ₁	I ₂	I ₀
4100 B	0	10,249	6,245	5,419	3,681	2,259
239	0	41,282	41,273	27,651	12,983	14,67
4111 A	0	41,282	41,273	27,651	12,983	14,67
3111	0	22,712	23,272	15,311	8,275	7,04
20-1	0	10,143	6,241	5,381	3,658	2,223

3.6 Perhitungan Manual Arus Gangguan Hubung singkat dan Perbandingan Nilai

Arus gangguan hubung singkat adalah besarnya tegangan yang dibagi dengan besarnya impedansi. Perhitungan manual membutuhkan besarnya tegangan yang digunakan dan besarnya impedansi tiap jaringan atau bus yang dilalui. Tegangan didapat dari data yang diperoleh saat pengumpulan data, sedangkan impedansi diperoleh dari hasil simulasi hubung singkat. Berdasarkan rumus arus hubung singkat, perhitungan manual menggunakan sampel analisa gangguan hubung singkat pada MCC 4111A.

Tabel 5. *Report* Hasil Simulasi Impedansi pada MCC 4111A

Short-Circuit Summary Report

Bus		Positive Sequence Imp. (ohm)			Negative Sequence Imp. (ohm)			Zero Sequence Imp. (ohm)		
ID	kV	Resistance	Reactance	Impedance	Resistance	Reactance	Impedance	Resistance	Reactance	Impedance
MCC 4111 A	0.400	0.00087	0.00563	0.00569	0.00089	0.00559	0.00566	0.00070	0.00496	0.00501

Diketahui :

$$Z_1 = 0,00087 + j0,00563 \Omega = 0,00569 \angle 81,21560^\circ \Omega$$

$$Z_2 = 0,00089 + j0,00559 \Omega = 0,00566 \angle 80,95370^\circ \Omega$$

$$Z_0 = 0,00070 + j0,00496 \Omega = 0,00501 \angle 81,96695^\circ \Omega$$

$$V = 0,4 \text{ kV}$$

$$E_a = \frac{V}{\sqrt{3}}$$

$$E_a = \frac{0,4}{\sqrt{3}} = 0,23094 \text{ kv}$$

1) Perhitungan arus gangguan hubung singkat 3 phase

$$I_a = \frac{E_a}{Z_1}$$

$$I_a = \frac{0,23094}{0,00087 + j0,00563} = \frac{0,23094 \angle 0^\circ}{0,00569 \angle 81,21560^\circ} = 40,58699 \angle -81,21560^\circ \text{ kA}$$

2) Perhitungan arus gangguan hubung singkat satu fasa ke tanah

$$I_{a1} = \frac{E_a}{Z_{total}}$$

$$I_a = 3 \cdot I_{a1}$$

$$Z_{total} = 0,00246 + j0,01618 \Omega = 0,01637 \angle 81,35498^\circ \Omega$$

$$I_{a1} = \frac{0,23094}{0,00246 + j0,01618} = \frac{0,23094 \angle 0^\circ}{0,01637 \angle 81,35498^\circ} = 14,10751 \angle -81,35498^\circ \text{ kA}$$

$$I_{a1} = 3 \times (14,10751 \angle -81,35498^\circ) = 42,32253 \angle -81,35498^\circ \text{ kA}$$

3) Perhitungan arus gangguan hubung singkat antar fasa (ganda)

$$I_{a1} = \frac{E_a}{Z_1 + Z_2}$$

$$= \frac{0,23094}{(0,00087 + j0,00563) + (0,00089 + j0,00559)}$$

$$= \frac{0,23094}{0,00176 + j0,01122}$$

$$\begin{aligned}
&= \frac{0,23094 \angle 0^\circ}{0,01136 \angle 81,08507^\circ} \\
&= 20,32923 \angle -81,08507^\circ \text{ kA} = 3,15038 - j20,08364 \text{ kA} \\
I_{a2} &= -I_{a1} = -(3,15038 - j20,08364) = -3,15038 + j20,08364 = 20,32923 \\
&\quad \angle 98,91494^\circ \text{ kA} \\
I_{a0} &= 0 \text{ kA} \\
I_b &= I_{a0} + a^2 I_{a1} + a I_{a2} \\
I_b &= 0 + (1 \angle 240^\circ)(20,32923 \angle -81,08507^\circ) + (1 \angle 120^\circ)(20,32923 \angle 98,91494^\circ) \\
&= (20,32923 \angle 158,91493^\circ) + (20,32923 \angle 218,91494^\circ) \\
&= (-18,96813 + j7,31352) + (-15,81775 - j12,77013) \\
&= -34,78588 - j5,45661 \text{ kA} = 35,21125 \angle -171,10851^\circ \text{ kA} \\
I_c &= I_{a0} + a I_{a1} + a^2 I_{a2} \\
I_c &= 0 + (1 \angle 120^\circ)(20,32923 \angle -81,08507^\circ) + (1 \angle 240^\circ)(20,32923 \angle 98,91494^\circ) \\
&= (20,32923 \angle 38,91493^\circ) + (20,32923 \angle 338,91494^\circ) \\
&= 15,81776 + j12,77013 + 18,96813 - j7,31351 \\
&= 34,78589 + j5,45662 \text{ kA} = 35,21126 \angle 8,91494^\circ \text{ kA}
\end{aligned}$$

4) Perhitungan arus gangguan hubung singkat ganda ke tanah

$$\begin{aligned}
I_{a1} &= \frac{E_a}{Z_1 + (Z_2 \parallel Z_0)} \\
Z_2 \parallel Z_0 &= \frac{Z_2 Z_0}{Z_2 + Z_0} = 0,00265 \angle 81,49125^\circ \Omega = 0,00039 + j0,00262 \Omega \\
I_{a1} &= \frac{0,23094}{(0,00087 + j0,00563) + (0,00039 + j0,00262)} \\
&= \frac{0,23094}{0,00126 + j0,00825} = \frac{0,23094 \angle 0^\circ}{0,00834 \angle 81,31647^\circ} = 27,69065 \angle -81,31647^\circ \text{ kA} \\
V_{a1} &= V_{a2} = V_{a0} = (I_{a1} \cdot Z_1) - E_a \\
&= \{(27,69065 \angle -81,31647^\circ)(0,00569 \angle 81,21560^\circ)\} - 0,23094 \\
&= (0,15756 \angle -0,10087^\circ) - 0,23094 \\
&= (0,15756 - j0,00028) - 0,23094 \\
&= -0,07338 + j0,00028 = 0,07338 \angle 179,78137^\circ \text{ kV} \\
I_{a2} &= \frac{V_{a2}}{Z_2} = \frac{0,07338 \angle 179,78137^\circ}{0,00566 \angle 80,95370^\circ} = 12,96466 \angle 98,82767^\circ \text{ kA} \\
I_{a0} &= \frac{V_{a0}}{Z^0} = \frac{0,07338 \angle 179,78137^\circ}{0,00501 \angle 81,96695^\circ} = 14,64671 \angle 97,81442^\circ \text{ kA} \\
I_b &= I_{a0} + a^2 I_{a1} + a I_{a2}
\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
I_b &= (14,64671 \angle 97,81442^\circ) + (1 \angle 240^\circ)(27,69065 \angle -81,31647^\circ) + (1 \\
&\quad \angle 120^\circ)(12,96466 \angle 98,82767^\circ) \\
&= (14,64671 \angle 97,81442^\circ) + (27,69065 \angle 158,68353^\circ) + (12,96466 \angle 218,82767^\circ) \\
&= -1,99144 + j14,51070 - 25,79624 + j10,06608 - 10,09993 - j8,12858 \\
&= -37,88761 + j16,4482 \text{ kA} = 41,30254 \angle 156,53199^\circ \text{ kA} \\
I_c &= I_{a0} + a \cdot I_{a1} + a^2 \cdot I_{a2} \\
I_c &= (14,64671 \angle 97,81442^\circ) + (1 \angle 120^\circ)(27,69065 \angle -81,31647^\circ) + (1 \\
&\quad \angle 240^\circ)(12,96466 \angle 98,82767^\circ) \\
&= (14,64671 \angle 97,81442^\circ) + (27,69065 \angle 38,68353^\circ) + (12,96466 \angle 338,82767^\circ) \\
&= -1,99144 + j14,51070 + 21,61560 + j17,30716 + 12,08952 - j4,68250 \\
&= 31,71368 + j27,13536 \text{ kA} = 41,73829 \angle 40,55148^\circ \text{ kA}
\end{aligned}$$

5) Perbandingan nilai arus gangguan hubung singkat

Hasil analisa arus gangguan hubung singkat dari simulasi ETAP 12.6 akan dibandingkan dengan hasil perhitungan manual dengan rata-rata selisih kurang dari satu. Perbandingan rating arus hubung singkat perhitungan manual berbeda dengan hasil simulasi dikarenakan oleh beberapa faktor, yaitu : ketelitian, pembulatan angka di belakang koma, dan pemahaman rumus. Hasil perbandingan dapat dilihat pada tabel 6.

Tabel 6. Hasil Perbandingan *Rating* Arus Gangguan Hubung Singkat

Jenis Gangguan	Simulasi			Perhitungan manual			Selisih		
	I_a	I_b	I_c	I_a	I_b	I_c	I_a	I_b	I_c
3 fasa	40,571	-	-	40,58699	-	-	0,01599	-	-
Satu fasa ke tanah	42,323	0	0	42,32253	0	0	0,00047	0	0
ganda	0	35,221	35,221	0	35,21125	35,21126	0	0,00975	0,00974
Ganda ke tanah	0	41,282	41,273	0	41,30254	41,73829	0	0,02054	0,46529

4. PENUTUP

Berdasarkan pada simulasi dan pembahasan analisa arus gangguan hubung singkat dengan menggunakan metode simulasi dengan ETAP 12.6 maupun menggunakan metode perhitungan manual dapat disimpulkan bahwa :

- 1) *Rating* arus hubung singkat yang terhubung setelah trafo dan sebelum trafo memiliki nilai berbeda. *Rating* arus hubung singkat sebelum trafo yaitu 8,833 kA gangguan 3 fasa, 8,137 kA

gangguan satu fasa ke tanah, 7,735 kA gangguan ganda, dan 10,143 kA fasa B gangguan ganda ke tanah serta 6,241 kA fasa C gangguan ganda ke tanah. Untuk gangguan setelah trafo yaitu 40,571 kA gangguan 3 fasa, dan 42,323 kA gangguan satu fasa ke tanah, 35,221 kA gangguan ganda, dan 41,282 kA fasa B serta 41,273 kA fasa C gangguan ganda ke tanah.

- 2) Bus yang tersambung tepat setelah trafo dengan bus yang tersambung ke beban memiliki *rating* arus hubung singkat yang sama, seperti pada bus 239 dengan MCC 4111A dengan besar arus 40,571 kA gangguan 3 fasa, 42,323 kA gangguan satu fasa ke tanah.
- 3) Semakin panjang kabel, maka impedansi akan semakin besar. Impedansi semakin besar menyebabkan arus hubung singkat semakin kecil dan sebaliknya, sebagai contoh antara *switchgear* 3111 dengan MCC 4111A pada gangguan hubung singkat 3 fasa. *Switchgear* 3111 dengan $Z_1 = 0,00211 + j0,00957$ ohm dan $I_a = 23,564$ kA, sedangkan pada MCC 4111A dengan $Z_1 = 0,00087 + j0,00563$ ohm dan $I_a = 40,571$ kA.
- 4) Berdasarkan simulasi terhadap 4 gejala hubung singkat didapat hubung singkat satu fasa ke tanah memiliki *rating* hubung singkat paling tinggi. Hal ini dapat dilihat dari besarnya nilai arus pada MCC 4111A sebesar 42,323 kA. Hal tersebut dapat terjadi karena gangguan hubung singkat satu fasa ke tanah hanya melibatkan 1 buah fasa, sedangkan 2 fasa lainnya tidak mengalami gangguan.

5. PERSANTUNAN

Penulis mengucapkan terimakasih kepada pihak-pihak yang telah membantu dalam penelitian maupun pembuatan laporan tugas akhir ini terutama kepada bapak Agus Supardi, S.T, M.T selaku pembimbing tugas akhir. Penulis juga mengucapkan terimakasih kepada bapak Brendy Ginting, bapak Abdul Aziz, dan bapak Gitab Bangkit selaku pemimbing kerja praktek dan pengarah ide tugas akhir serta teman-teman yang sudah mendukung dalam penelitian tugas akhir ini, antara lain mas Very, mas Saleh, mas Cahyo, dan teman-teman 2013 yang tidak dapat disebutkan satu-persatu.

DAFTAR PUSTAKA

- A, Malafeev. A, Luldasheva. 2015. *Short Circuit Failures Simulation for Evaluation of Structural Reliability of Power Supply System*. ICIE-2015, 129, 433-439.
- Fan, Chunju. Xu, Kan. Liu, Qi. 2016. *Short Circuit Current Calculation Method for Partial Coupling Transmission Lines under Different Voltage Levels*. Journal Electric Power and Energy System, 78, 647-654.
- Lidi, Wang. Guangyu, Wang. Weishe, hu. 2012. *Short Circuit Test Simulation of Transformer with Shunt Capacitor under Different Frequency Source*. AASRI Procedia, 3, 646-651.
- Mathur, Akhilesh. Pan, Vinay. Das, Biswarup. 2015. *Unsymmetrical short-circuit analysis for distribution system considering loads*. Journal Electrical Power and Energy Systems, 70, 27-

38.

- Sulla, F. Svensson, J. Samuelsson, O. 2011. *Symmetrical and unsymmetrical Short Circuit Current of Squirrel-Cage and Doubly Fed Induction Generator*. Journal Electric Power System Research, 81, 1610-1618.
- William D. Stevenson. Jr, Kamal Idris. 1994. *Analisis Sistem Tenaga Listrik*, Edisi Keempat. Jakarta : Erlangga.
- Yelfianhar, Ichwan. 2009. *Studi Hubungan Singkat untuk Gangguan Dua fasa antar Saluran pada Sistem Tenaga Listrik* : Tugas Akhir Jurusan Teknik Elektro, Fakultas Teknik, Universitas Negeri Padang.